

1 500 TONNES A BOUT DE BRAS



DANS CE NUMÉRO

Page 2 1 500 tonnes à bout de bras

Page 3 Jean-Louis Etienne : l'énergie sans parti-pris

Page 4 Il y a 60 ans, les Soviétiques levaient le voile

EDITORIAL

Deux bras pour soulever 1 500 tonnes – c'est avec ce double pont roulant, spectaculaire, que sera assemblé le tokamak ITER. Tout devra être prêt pour le mois de décembre 2025 quand la machine produira son premier plasma, inaugurant ainsi un programme de recherche qui se déploiera sur une vingtaine d'années au moins (page 2).

Autre date, celle du 25 avril 1956, il y a 60 ans, quand les Soviétiques levèrent le voile sur leurs recherches – c'est l'acte fondateur de ce qui deviendra un jour la « communauté de fusion » internationale (page 4).

Et un homme, un explorateur polaire, dont la présence dans ces pages peut paraître saugrenue mais ne l'est en rien – Jean-Louis Etienne, qui a placé la problématique des énergies au cœur de ses préoccupations, croit en ITER et nous le dit (page 3).

L'équipe d'ITER *Le Magazine*.
editormag@iter.org

1 500 TONNES A BOUT DE BRAS

C'est en tirant sur des cordes que s'effectue, au millimètre près, la mise en place finale des poutres du double pont roulant récemment installé dans le Hall d'assemblage.

1 500 tonnes, le poids de quatre Boeing 747 à pleine charge – ce sont des masses de cet ordre que le double pont roulant récemment mis en place dans le Hall d'assemblage d'ITER va devoir manipuler.

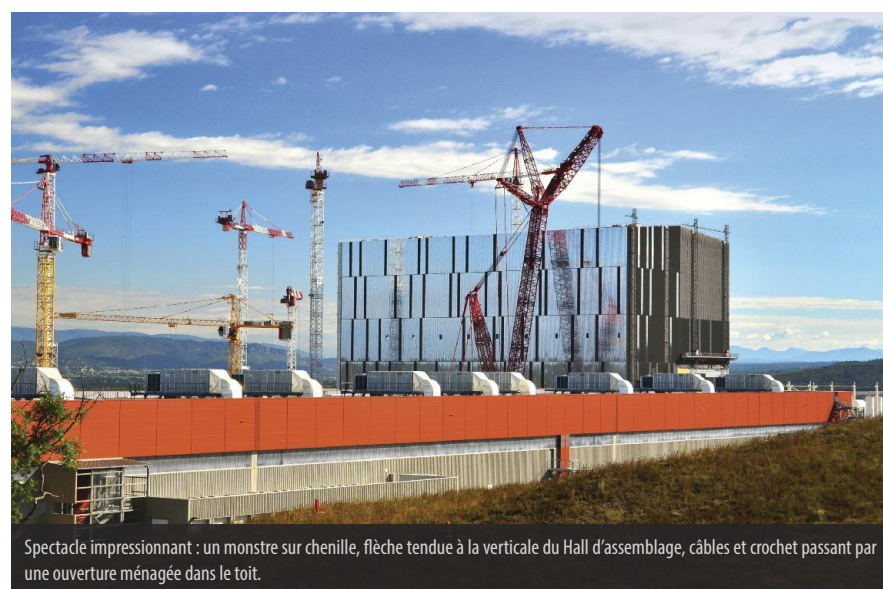
Pour installer à 43 mètres de hauteur les quatre poutres et leurs « chariots » motorisés, on a mobilisé une grue particulièrement puissante – un monstre sur chenilles, d'une capacité de levage de 1 000 tonnes positionné à l'extérieur du Hall d'assemblage, flèche tendue à la verticale du bâtiment, câbles et crochet passant par une ouverture ménagée dans le toit.

L'opération a duré dix jours, conjuguant force mécanique, haute technologie et savoir-faire artisanal – c'est en tirant sur des cordes que l'on s'assure du positionnement final, quasiment au millimètre près, de ces poutres longues de 47 mètres et pesant plus de 186 tonnes.

Le double pont roulant, dont les éléments ont été fabriqués par un consortium conduit par la société lyonnaise REEL, va jouer un rôle crucial aux deux extrêmes de la vie d'ITER – lors de la phase d'assemblage du tokamak dès 2019, et, à l'horizon du milieu du siècle voire plus tard, lorsqu'il s'agira de démanteler l'installation.

Sa capacité de levage lui permettra de manipuler les plus lourds des éléments de la machine, comme les différentes sections du cryostat, dont la plus massive pèse 1 250 tonnes, ou les « pré-assemblages », comme les ensembles constitués d'un secteur de chambre à vide associé à deux bobines verticales (*TF Coils*), d'un poids total de l'ordre de 1 200 tonnes.

Quand le Bâtiment tokamak, qui jouxte le Hall d'Assemblage, aura atteint sa hauteur définitive (seuls les deux niveaux en sous-sol sont finalisés à ce jour) les rails du double pont roulant seront prolongés de quelque 80 mètres. Les pièces pourront ainsi être positionnées à la verticale de la fosse d'assemblage avant d'être intégrées au tokamak.



Spectacle impressionnant : un monstre sur chenille, flèche tendue à la verticale du Hall d'assemblage, câbles et crochet passant par une ouverture ménagée dans le toit.

Premier plasma : Objectif 2025

Pour déterminer avec précision la date à laquelle ITER produira son premier plasma, des centaines d'ingénieurs, de techniciens et de planificateurs ont travaillé sans relâche pendant dix-huit mois. Ils ont actualisé les plannings de production des usines qui, dans une vingtaine de pays, fabriquent les pièces de la machine ; ils ont confronté ces projections à celles de l'avancement des constructions à Saint-Paul-lez-Durance ; ils ont introduit des variables – combien de temps pouvait-on gagner en recrutant plus de spécialistes, en augmentant les budgets? – et ils sont parvenus à une date : décembre 2025.

En France et dans chacun des pays membres du programme, ITER est donc tout entier mobilisé pour tenir ce calendrier, que le Conseil ITER, après l'avoir validé, a jugé « exigeant mais techniquement réalisable ».

Il se sera donc écoulé 40 ans entre le projet d'une grande collaboration internationale dans le domaine de la fusion, décidé lors de la rencontre Reagan-Gorbatchev à Genève au mois de novembre 1985 (voir *Le Magazine* n°8), et l'allumage d'un premier plasma dans le tokamak ITER.

La difficulté d'organiser une entreprise internationale d'une telle ampleur (7 membres, 35 pays) ; la complexité de sa gouvernance ; les immenses défis scientifiques, technologiques financiers et industriels auxquels ITER a dû et doit encore faire face expliquent en partie cette longue gestation.

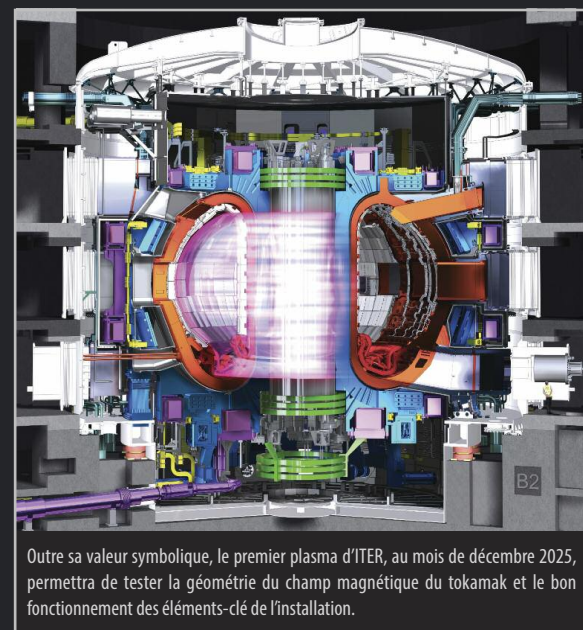
Mais la route est désormais tracée jusqu'à l'étape décisive : en même temps qu'il marque un aboutissement, le premier plasma inaugure le programme de recherche d'ITER qui doit se déployer sur une vingtaine d'années au moins.

Le premier plasma, outre sa forte dimension symbolique, est un test majeur : il permet de vérifier la géométrie des champs magnétiques ainsi que le bon fonctionnement des éléments essentiels de l'installation – alimentation électrique, cryostat, circuit de refroidissement, cryogénie, etc.

Plasma d'hydrogène, à puissance réduite, d'une durée de quelques centaines de millisecondes, le premier plasma sera suivi, pendant quelques semaines, d'autres « décharges » un peu plus

longues, un peu plus puissantes.

Puis, la machine sera mise à l'arrêt le temps d'installer l'ensemble des systèmes indispensables à la préparation de la phase suivante – celle des plasmas d'hydrogène et d'hélium à puissance nominale, prélude à la phase nucléaire et à la production d'énergie de fusion à l'horizon 2035.



Outre sa valeur symbolique, le premier plasma d'ITER, au mois de décembre 2025, permettra de tester la géométrie du champ magnétique du tokamak et le bon fonctionnement des éléments-clé de l'installation.

JEAN-LOUIS ETIENNE L'ÉNERGIE SANS PARTI-PRIS

Photo © Francis Latreille

Médecin, alpiniste, équipier d'Éric Tabarly sur le Pen Duick VI, Jean-Louis Etienne est le premier, en 1986, à atteindre le pôle Nord en solitaire. En Arctique comme en Antarctique, à pied, en chien de traîneau ou en ballon, la problématique de l'énergie a toujours été au cœur de sa réflexion.

Au mois de mars 1986, Jean-Louis Etienne partit à pied, seul, pour le pôle Nord – depuis l'île Ward Hunt à l'extrême nord du Canada, 63 jours de marche sur l'océan arctique gelé. Médecin, alpiniste, navigateur, il a souvent dit que marcher vers le Pôle « ne demande pas de compétence particulière » mais de l'endurance, de la détermination, une force mentale quasi surhumaine. L'expérience a décidé de sa vie : seul ou dans le cadre d'expéditions internationales, il explorera les pôles, les parcourra en tous sens, en traîneau à chiens, en goélette dérivant dans les glaces, en ballon, en dirigeable.

Explorateur, l'homme est également un scientifique qui s'interroge sur la fragilité de la planète – la problématique de l'énergie est au cœur de sa réflexion. Refusant d'être prisonnier des dogmes et des « postures », Jean-Louis Etienne considère que « le nucléaire est l'énergie de l'intelligence » et s'est prononcé, à plusieurs reprises, en faveur d'ITER.

Il a bien voulu répondre aux questions d'ITER magazine.

Quelle place occupe la gestion de l'énergie quand on marche tout seul vers le Pôle ?

Au pôle Nord en 1986, j'avais deux sources d'énergie : le *white gaz* pour le réchaud, une essence très pure, sans graisse, qui ne gèle pas, et des batteries lithium-ion pour la radio HF et la balise Argos. Ces deux sources étaient vitales et l'économie d'énergie était une obsession. En situation extrême, on est sensibilisé au caractère précieux de l'énergie.

C'est cette expérience qui vous a conduit à vous préoccuper, de manière plus globale, des problématiques énergétiques ?

Pour chaque expédition, la production et la consommation d'énergie est une préoccupation constante. La réflexion sur l'optimisation des ressources locales m'a conduit à me pencher sur les potentiels et les limites des énergies renouvelables, notamment le stockage de l'électricité.

A l'échelle de la planète, l'Agence internationale de l'énergie prévoit une augmentation de la demande mondiale d'électricité de l'ordre de 80% d'ici 2040. Avez-vous le sentiment que les décideurs politiques ont pris la mesure de ce défi ?

Si on additionne les besoins croissants des voitures électriques, ceux des vastes mégapoles où sera concentrée 75% de la population mondiale, ceux de la consommation des data centers, des téléphones portables, tablettes, objets connectés etc. ... il est évident que la consommation électrique va exploser. Je pense que les décideurs politiques, qui sont entourés de spécialistes, sont bien informés. Mais la facilité d'accès aux énergies fossiles, notamment au charbon bon marché, n'incite pas à s'engager sur d'autres ressources, à l'exception des énergies renouvelables qui sont imposées par les engagements politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre et par les attentes de la population.

Le nucléaire, sous ses différentes formes, occupera une place importance dans le « mix énergétique » des décennies qui viennent. Certains, dans les milieux « verts » et « écologistes » se sont étonnés de votre approche du nucléaire...

L'attitude face à l'énergie relève plus de la posture et du suivisme que d'une réelle culture qui demande de faire l'effort de se pencher sur le problème. Il faut envisager la sortie des fossiles, pour des raisons climatiques et aussi parce qu'ils finiront par se tarir ou devenir trop coûteux à exploiter. Après les énergies de

stock il faudra passer aux énergies de flux. Les énergies renouvelables — faible densité, problème d'acceptabilité (éoliennes, barrages hydroélectriques, fermes photovoltaïque...), stockage limité de l'électricité —, n'y suffiront pas. Alors pourra-t-on se passer du nucléaire ? Je parle des réacteurs de Génération IV ou d'ITER. En ce sens je suis favorable à la poursuite des recherches sur l'énergie nucléaire.

Vous vous êtes prononcé à différentes reprises en faveur d'ITER. Qu'est-ce qui vous attire dans ce grand programme international sur « l'énergie de fusion » ?

Mise à part la géothermie, toutes les énergies que l'on trouve dans la nature ont pour origine le soleil. Il y a celles que l'on qualifie d'inépuisables : le photovoltaïque, le solaire thermique, l'éolien, la biomasse, l'hydroélectrique (évaporation-précipitation), indirectement les courants de marée qui sont liés à la position du soleil et de la lune. Et bien sûr les énergies fossiles, lente transformation sur des millions d'années de matières végétales, produite par la photosynthèse, sous l'action de la chaleur et la pression de l'écorce terrestre. C'est encore



Photo © Francis Latreille

Soixante-trois jours de marche, seul, sur l'océan arctique gelé – une expérience unique, qui conduit à s'interroger sur soi-même et l'avenir du monde.

l'énergie du soleil transformée dans un temps très long, non renouvelable à l'échelle de l'humanité. Toutes ces énergies sont produites par le rayonnement solaire. La tentation est grande d'essayer de reproduire un "soleil sur terre". C'est en ce sens qu'ITER est un beau projet audacieux.

A vos yeux, quels sont les atouts de « l'énergie de fusion » ?

Pas de production de déchets à vie longue, ressource quasi inépuisable, pas de risques d'explosion, arrêt instantané en cas de problème.

Vous avez récemment visité le site d'ITER. Vous attendiez-vous à ce que vous avez vu ? Qu'avez-vous ressenti ?

La construction est monumentale. Le défi est immense et exaltant : on parle de maîtriser les réactions de fusion qui se produisent à des millions de degrés dans le cœur du soleil. C'est un projet planétaire qui me rappelle le CERN par la complexité de sa structure et les ambitions de recherche, un compagnonnage entre science fondamentale et très haute technologie.

L'intégralité de l'interview que Jean-Louis Etienne a accordée à ITER magazine est accessible en ligne à l'adresse suivante : <http://www.iter.org/fr/mag/9>.

Un site web est tout entier dédié à l'actualité de Jean-Louis Etienne, à ses publications, conférences, recherches et explorations : <http://www.jeanlouisetienne.com>



Nikita Khrouchtchev, le physicien Igor Kourtchatov (portant sa célèbre barbe) et Nikolai Boulganine le 25 avril 1946 à Harwell, dans le saint des saints de la recherche nucléaire britannique – les prémices de ce qui deviendra « la communauté de fusion ».

Le 18 avril 1956, un navire de guerre soviétique accostait à Portsmouth, sur la côte méridionale du Royaume-Uni. A son bord, accompagnés d'une importante suite, deux des hommes les plus puissants et les plus mystérieux de leur temps: Nikolai Boulganine, le président du Conseil des ministres de l'Union soviétique, et Nikita Khrouchtchev, secrétaire général du parti communiste.

Les deux hommes répondaient à l'invitation du Premier ministre britannique Anthony Eden. Trois ans après la mort de Staline, deux mois après le séisme du XXe congrès du Parti, au cours duquel Khrouchtchev avait plaidé pour « la coexistence pacifique » entre les deux blocs, l'Est et l'Ouest se rencontraient pour établir les bases d'une relation nouvelle, ouverte et apaisée.

L'arrivée du croiseur *Ordjonikidze* fut un événement – c'était la première fois que des dignitaires soviétiques se rendaient en visite officielle au Royaume-Uni.

Si Boulganine et Khrouchtchev mobilisaient l'attention des foules et des journalistes, un troisième homme allait bientôt leur voler la vedette. Il s'appelait Igor Kourtchatov et dirigeait, depuis 1943, le programme nucléaire soviétique.

L'URSS lui devait son statut de puissance atomique : en 1949 avec la bombe « A » ; quatre ans plus tard avec la bombe « H », il lui avait permis de rattraper son retard sur les Etats-Unis.

L'équilibre stratégique étant rétabli, Kourtchatov avait pu consacrer son talent et son énergie à une autre entreprise, sans doute la plus prometteuse et la plus difficile de toutes : ce qu'il appelait « le problème de la synthèse thermonucléaire » – en d'autres termes, la maîtrise de l'énergie de fusion à des fins pacifiques.

Et s'il accompagnait Boulganine et Khrouchtchev au Royaume-Uni c'est qu'avec la bénédiction de ces derniers il s'apprêtait à lever une partie du voile sur ses recherches, partager ses résultats et nouer un lien avec ceux qui, comme lui, cherchaient à s'approprier l'énergie du Soleil.

Pourquoi cette ouverture soudaine ? L'histoire, les archives, les mémoires publiés par les uns et les autres n'ont jamais fourni de réponse claire. Sans doute Kourtchatov savait-il que les moyens humains d'une seule nation ne suffiraient jamais à relever l'immense défi de la fusion; sans doute Khrouchtchev souhaitait-il montrer à ses hôtes que son pays, sur le plan scientifique et technologique, était au moins aussi avancé que le leur.

Quelles qu'en aient été les motivations, l'intervention de Kourtchatov, le 25 avril au Centre de recherches pour l'énergie atomique de Harwell, dans l'Oxfordshire, marque une date clé dans l'histoire de la fusion.

Sobrement intitulé « *De la possibilité de produire des réactions thermonucléaires dans une décharge gazeuse* », le texte qu'il lut et distribua aux quelque 300 physiciens rassemblés dans le saint des saints de la recherche nucléaire britannique était

d'une rare transparence : accompagné de graphiques, d'équations, de photos, ce document de huit pages racontait comment l'Union soviétique avait lancé, six ans plus tôt, un programme de recherche sur l'énergie de fusion ; il décrivait les machines qui avaient été construites et les réactions qui avaient été observées et notait avec honnêteté qu'un certain nombre de phénomènes « *rest[ai]ent à expliquer.* »

Kourtchatov n'en appelait pas de manière explicite à la collaboration internationale. Toutefois, en ne cachant rien de ses propres recherches, de sa méthodologie et de ses résultats expérimentaux, il mettait ses collègues occidentaux au défi d'agir de même.

Ceux qui l'écoutèrent à Harwell, ceux qui, dans le reste de l'Europe et aux Etats-Unis, prirent connaissance du texte, étaient prêts à le faire – tous comprenaient que seule une coopération internationale libre et transparente viendrait à bout des formidables difficultés, théoriques autant que pratiques, que présentait la fusion.

Leurs gouvernements, toutefois, n'étaient pas de cet avis. Pour beaucoup, particulièrement aux Etats-Unis, le geste d'ouverture des Soviétiques n'était qu'une ruse, un piège pour attirer les savants naïfs et les inciter à livrer leurs « secrets ».

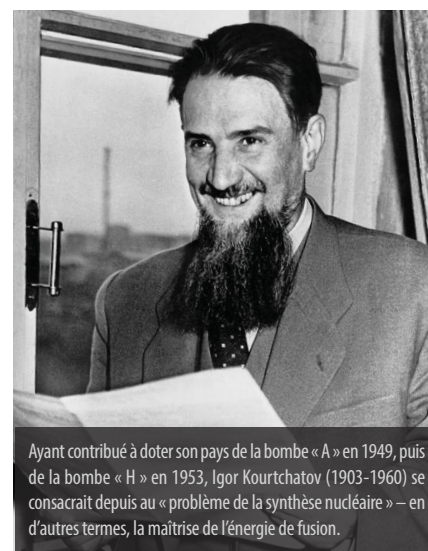
Mais de « secrets », il n'y avait pas : en matière de fusion, Soviétiques et occidentaux se posaient les mêmes questions, empruntaient les mêmes chemins et butaient sur les mêmes obstacles.

Il faudra cependant attendre 1958 et la Deuxième conférence sur les utilisations pacifiques de l'énergie atomique (« *Atoms for Peace* »), à Genève, pour que les graines semées à Harwell commencent enfin à germer.

Des deux côtés du rideau de fer les grands acteurs de la recherche – Lev Artsimovitch en Union soviétique, Edward Teller et Lyman Spitzer aux Etats-Unis – reçoivent enfin le feu vert pour se rencontrer et confronter leur expérience, leurs espoirs et leurs doutes.

Ainsi naquit, embryonnaire d'abord, cette « communauté de fusion » qui s'attela dès la fin des années 1950 à ce que Kourtchatov, dans son discours de Harwell, avait appelé « *la tâche passionnante mais extrêmement difficile du contrôle des réactions thermonucléaires.* »

Soixante ans ont passé et la tâche s'est révélée plus longue et plus difficile encore que Kourtchatov ne l'imaginait. Mais la « communauté de fusion », forte désormais de milliers de chercheurs dans des dizaines de pays, n'a jamais baissé les bras. Avec ITER, elle recueille aujourd'hui les fruits de sa ténacité.



Ayant contribué à doter son pays de la bombe « A » en 1949, puis de la bombe « H » en 1953, Igor Kourtchatov (1903-1960) se consacrait depuis au « problème de la synthèse nucléaire » – en d'autres termes, la maîtrise de l'énergie de fusion.